

Document public

Rapport d'activité
Projet Nîmes inondations, année 1

Rapport final

BRGM/RP-56476-FR

Juillet 2008









Rapport d'activité
Projet Nîmes inondations, année 1

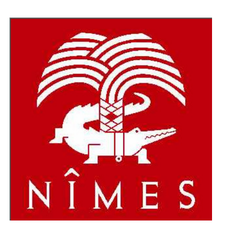
Rapport final

BRGM/RP-56476-FR
Juillet 2008

Étude réalisée dans le cadre du projet PSP07LRO12 du BRGM

P.Fleury
Avec la collaboration de
J. Cubizolles, J-L. Izac et P-A. Ayral

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : N. Dörfliger	Nom : M. Audibert
Date : 18/07/2008	Date : 24/07/2008







Mots clés : Karst, hydrogéologie, instrumentation, piézomètre, SIG, inondation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Fleury P. (2008) - Rapport d'activité – projet Nîmes inondation, année 1, Rapport BRGM RP-56467-FR, 23 p., 10 ill..

Synthèse

Dans le cadre d'une convention de recherche et développement partagés avec la ville de Nîmes, le BRGM a pour objectif de « Caractériser et modéliser le fonctionnement des cadereaux en considérant le ruissellement de surface sur les bassins versants et l'apport des eaux souterraines de l'épikarst. » (projet PSP07LRO12). Ce rapport constitue la présentation des actions menées en collaboration avec l'Ecole des Mines d'Alès dans le cadre du projet à l'issue de la première année de travail 2007-2008. Les activités réalisées dans le cadre des trois modules « scientifique et techniques » sont ainsi répertoriés. Elles sont relatives essentiellement à :

- la mise en place d'un nouveau réseau piézométrique et hydrométrique, et la poursuite du suivi de l'ancien réseau piézométrique,
- la poursuite de la caractérisation du ruissellement sur le bassin versant des cadereaux et la caractérisation du comportement des cadereaux en plusieurs sections,
- le développement d'une méthodologie pour la modélisation des débits des cadereaux en prenant en considération l'information « contribution karstique ».

Sommaire

Liste des illustrations

1 Module 1 – Réseau d'alerte « eaux souterraines »

Concernant le Module 1 – Réseau d'alerte « eaux souterraines » les tâches suivantes ont été accomplies :

1.1 PHASE INSTRUMENTALE

Dans le but de caractériser l'apport des eaux souterraines de l'épikarst à l'alimentation du ruissellement, la réalisation de huit nouveaux piézomètres répartis sur les différents bassins versants des cadereaux a été mise en œuvre. Les zones d'intérêt pour l'implantation des piézomètres à intégrer au réseau d'alerte, ont été définies en accord avec la Ville de Nîmes à l'issue d'un examen détaillé du point de vue géologique structural réalisé au cours de visites de terrain (été 2007). Ces nouveaux piézomètres répartis sur les différents bassins versants des cadereaux ont été réalisés en août 2007 par l'entreprise Brante Frères Forages – Sondages – TP (rapport BRGM RP-55836-FR). Un suivi géologique et hydrogéologique a eu lieu lors de la foration. Chaque piézomètre a été équipé d'un capteur de Pression Température de type Orphéus mini fabriqué par OTT. Un rapport présentant les travaux de sondage réalisés a été rédigé en septembre 2007 (Fleury, 2007). Les nouveaux points situés à proximité des cadereaux, viennent ainsi compléter l'ancien réseau (Illustration 2), ce sont :

- piézomètre Védelin (Cadereau de Pondre),
- piézomètre SPA (Cadereau de Valdegour) ,
- piézomètre Golf (Cadereau de Camplanier),
- piézomètre Mas à quinze francs 1 et 2 (Cadereau d'Alès),
- piézomètre Combe Torte 1 et 2 (Cadereau d'Uzès),
- piézomètre Carrière Font Aubarne (Cadereau de Valladas).

Les paramètres des différents piézomètres sont récapitulés ci-dessous :

Piézomètre	Code BSS	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Coord Z (m)
Védelin	0964-8X-0100	757 867	171 346.84	81.85
SPA	0964-4X-0071	756 472.98	1 74 023.5	167.28
Golf	0964-4X-072	758 254.85	173 851.73	121.82
Mas à 15 fr 1	0965-1X-0149	759 908.04	175 795.4	122.04
Mas à 15 fr 2	0965-1X-0146	759 904.09	175 794	122
Combe Torte 1	0965-1X-0147	763 746.88	177 258.93	142.43
Combe Torte 2	0965-1X-0150	763 756.84	177 267.19	143.11
Carrière	0965-1X-0148	766 235.56	177 395.99	109.22

Illustration 1. Paramètres des piézomètres du nouveau réseau (les coordonnées sont en Lambert III)



Illustration 2. Localisation des nouveaux points du réseau piézométrique

1.2 PHASE DE SUIVI HYDROLOGIQUE

Depuis septembre 2007, le nouveau réseau piézométrique est suivi. Le relevé des données et la maintenance s'effectuent à un pas de temps quasi mensuel. Des premières interprétations pour le moment succinctes ont été réalisées sur les petites crues automnales et hivernales, n'ayant pas conduit à des débordements.

En parallèle un pluviomètre avec échantillonnage des eaux de pluies a été installé au Mas de Védelin, à proximité du piézomètre Védelin.

1.3 CARACTERISATION HYDRAULIQUE DES POINTS DU RESEAU

Des tests hydrauliques visant à caractériser le comportement à proximité des piézomètres ou des forages ont été réalisés en juin 2008 sur l'ensemble des points du réseau le permettant (c'est-à-dire les forages et piézomètres caractérisés par des diamètres de conduite suffisamment large). Sur les 25 forages/piézomètres du réseau une douzaine ont ainsi pu être testés. Selon les degrés de réactivité du niveau piézométrique des différents ouvrages, ont été réalisés soit des tests d'injection (10 l

d'eau), soit des slug-tests (insertion rapide d'un cylindre métallique suivi, une fois le niveau piézométrique revenu à l'état initial, d'un retrait également rapide).

A l'issu de ces tests, les perméabilités des forages et piézomètres ont été définies localement pour des profondeurs voisines des niveaux d'eau observés au moment des essais. Les perméabilités varient entre 10^{-5} et 10^{-8} m/s.





Illustration 3. Mise en place du slug test

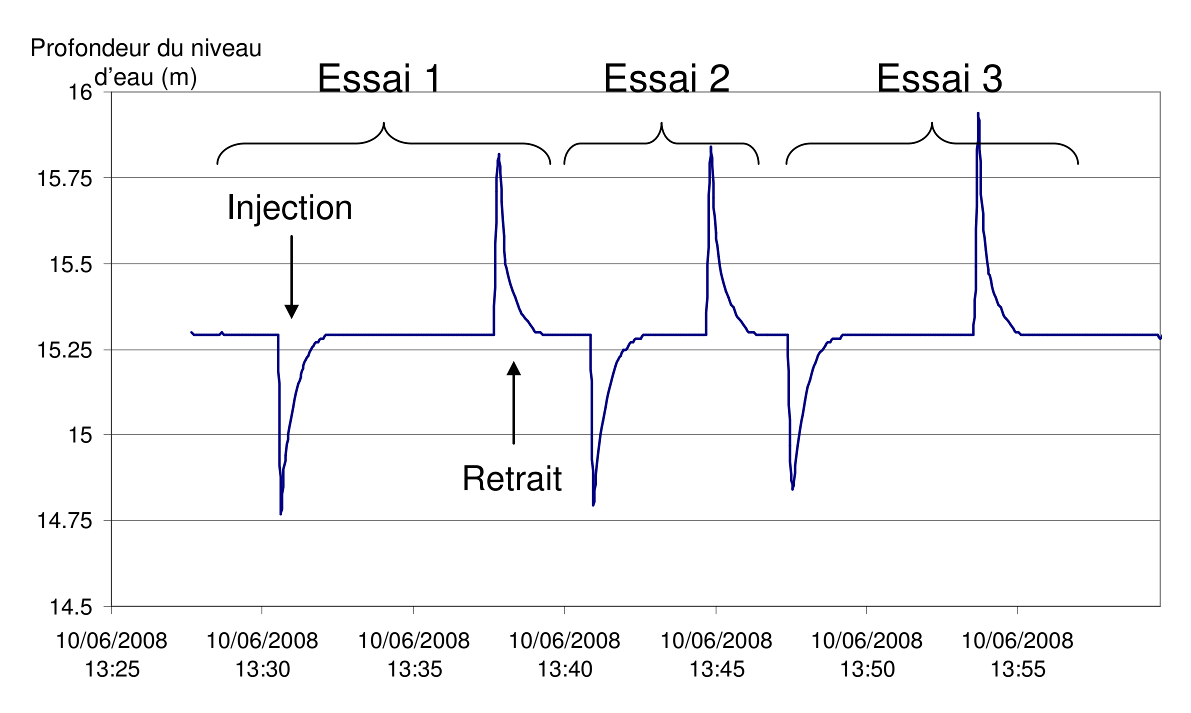


Illustration 4. Résultats graphiques sur le site de Torte 1

2 Module 2 – Fonctionnement hydrogéologique et hydrologique des cadereaux et relation avec le débordement de l'épikarst

Concernant le Module 2 – Fonctionnement hydrogéologique et hydrologique des cadereaux et relation avec le débordement de l'épikarst, les tâches suivantes ont été accomplies :

2.1 INSTRUMENTATION

Afin de compléter le réseau de mesure des niveaux d'eau dans les cadereaux de la Ville de Nîmes, les cadereaux d'Alès (environ 500 m à l'aval du Pont des 9 Arcades) et de Valdegour (à proximité de la zone de Saint-Cézaire) ont été instrumentés au mois d'avril 2008 à l'aide de sonde de Pression, Conductivité et Température de la marque Van Hessen.

2.2 SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET GEOCHIMIQUES LORS DES CRUES

Afin de mener à bien la caractérisation des flux d'eau lors des crues, la Fontaine de Nîmes a été équipée d'un préleveur. Les échantillons sont ainsi prélevés au pas de temps 48 h. Ainsi, en cas de débordement, les échantillons anté-crue permettront de caractériser la zone noyée de l'aquifère karstique. De même les échantillons d'eau de pluie issus du pluviomètre Védelin serviront à la caractérisation du flux d'eau de la pluie efficace. A ce jour aucune crue significative n'a été échantillonnée dans le cadre de ce projet.

2.3 SUIVI DES PARCELLES SOUS PLUIES NATURELLES (ECOLE DES MINES D'ALES)

L'ensemble des parcelles expérimentées dans le cadre du précédent projet ont été démontées et seules les deux parcelles situées sur le cadereau d'Uzès (Camp des Garrigues) ont été conservées. Ces deux parcelles ont été révisées et seront opérationnelles à partir du 1er août 2008. Une station de suivi de la teneur en eau du sol est également en cours d'installation sur ce même bassin versant, elle comportera trois sondes situées à des profondeurs différentes. Ce suivi permettra de caractériser et de quantifier la capacité d'infiltration et le ruissellement sur ces parcelles en fonction des précipitations et de l'état hydrique du sol.

2.4 CARACTERISATION DU COMPORTEMENT DU CADEREAU EN PLUSIEURS SECTIONS (ECOLE DES MINES D'ALES)

La méthodologie de retour d'expérience est actuellement développée sur le cadereau d'Uzès ; elle vise à estimer le débit en de nombreuses sections des cadereaux. Cette méthodologie comporte deux étapes principales :

Etape 1 : Choix des sections

Une campagne de terrain, actuellement en cours, permettra de sélectionner des points d'observation sur les six bassins versants étudiés. Trois relevés topographiques de sections des cadereaux au minimum sont effectués sur chacun des points d'observation.

Etape 2 : Organisation du retour d'expérience

Suite à chaque événement pluvieux conséquent un relevé des hauteurs d'eau maximum (à partir des laisses de crues) atteintes sur les différents points d'observation sera effectué. Un débit maximum sera alors calculé pour chacun des points d'observation.

Pour parfaire cette méthodologie de retour d'expérience, un capteur hydrologique binaire (présence ou absence d'eau) a été développé durant ce premier semestre. L'objectif est qu'il puisse enregistrer la date et l'heure de la mise en eau du cadereau et cela pour au maximum quatre niveaux d'eau prédéfinis. Ce capteur a été conçu pour être le plus discret possible et d'un coût permettant son déploiement sur un grand nombre de sections. Un prototype a été réalisé (Illustration 5), la phase de finalisation et d'industrialisation a débuté. Il est envisagé de déployer plusieurs capteurs dès septembre 2008.

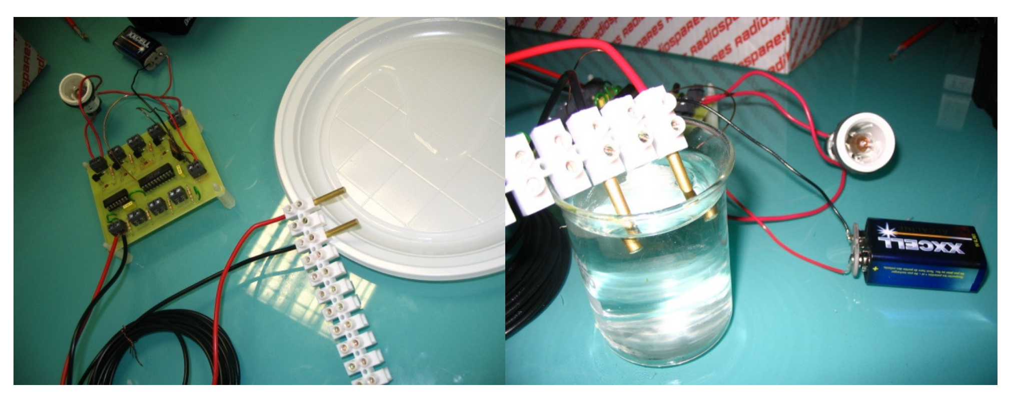


Illustration 5. Prototype de capteur hydrologique binaire

Un protocole d'observation « in-situ » pendant l'événement pluvieux a également été défini. Ce dernier doit permettre d'estimer les débits (jaugeages par conductimétrie) et les vitesses (courantomètre, flotteurs, …) sur un ou plusieurs points d'observation. Ces données permettront d'affiner les évaluations de débits calculés à partir du relevé des laisses de crues. Des prélèvements d'échantillons seront également effectués. Cette phase d'observation est conditionnée par l'intensité de l'événement pluvieux (accessibilité aux sites, disponibilités lors de l'événement, …), la priorité sera donnée au bassin versant du cadereau d'Uzès dans une première phase d'observation.

Ainsi, à partir de ce travail et de l'étude à l'échelle de la parcelle la contribution de chaque sous-bassin versants au débit total sera définie.

Cette méthode sera appliquée à un ou deux autres cadereaux pour caractériser la composante ruissellement sur chacun des sous-bassins versants des cadereaux.

2.5 EXTENTION DE LA CARTOGRAPHIE DE LA PERMEABILITE DES SOLS (ECOLE DES MINES D'ALES)

Au cours de la phase de terrain nécessaire à la réalisation des sections (qui a débutée en juin pour se poursuivre jusqu'à fin juillet 2008) des prélèvements de sol ont été réalisés. La perméabilité de ces échantillons sera définie et ces perméabilités seront comparées à celle déjà obtenues lors du précédent projet (Fleury et al., 2007). A l'issue de ce travail une cartographie de la perméabilité des sols sur l'ensemble des sous-bassins versants des cadereaux nîmois sera établie.

Enfin la définition de valeur de perméabilité et de ruissellement « moyens » sera mise en œuvre pour chaque sous bassin versant utilisé dans le système d'alerte existant.

3 Module 3 – Contribution à la modélisation des cadereaux

Concernant le Module 3 – Contribution à la modélisation des cadereaux, les tâches suivantes ont été accomplies :

3.1 REALISATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOLOGIQUE (SIG) COMPLET

Afin d'obtenir une information synthétique des éléments géologiques utiles à cette étude, un Système d'Information Géographique (SIG) regroupant l'ensemble des informations suivantes a été réalisé :

- fond topographique (image raster géo référencée, IGN) ;
- couche « carte géologique » (également géo référencée), BRGM 1/50 000 numérique harmonisée ;
- limites du bassin d'alimentation hydrogéologique de la source karstique de la Fontaine de Nîmes ;
- limites du bassin versant topographique de la Fontaine de Nîmes ;
- limites des différents bassins versants topographiques des cadereaux majeurs (susceptibles d'inonder Nîmes) et positions des stations de mesures de références correspondantes du réseau d'alerte ESPADA ;
- positions des différents piézomètres et points de mesure des niveaux d'eau souterraine suivis par le BRGM ;
- couche formations calcaires plutôt « imperméables » (marno-calcaires, par exemple) ;
- couche formations calcaires plutôt « perméables et potentiellement karstifiés » (calcaire urgonien, par exemple)
- positions de 57 sources permanentes référencées, accompagnées de liens permettant d'accéder à des fiches comprenant les informations suivantes : nom de la source, coordonnées GPS, description formation géologique correspondante, estimation du débit au moment de l'observation, photos ;
- positions de 36 sources temporaires référencées avec également des liens vers une fiche descriptive comprenant les mêmes informations que celles des sources permanentes ;
- positions de 34 puits référencées avec liens vers des fiches comprenant le nom du puits, ses coordonnées GPS, la description des formations géologiques et photographie des sites ;

- positions des avens référencés accompagnées de fiches regroupant les informations suivantes : nom de l'aven, coordonnées GPS, description formation géologique correspondante, photographie du site.

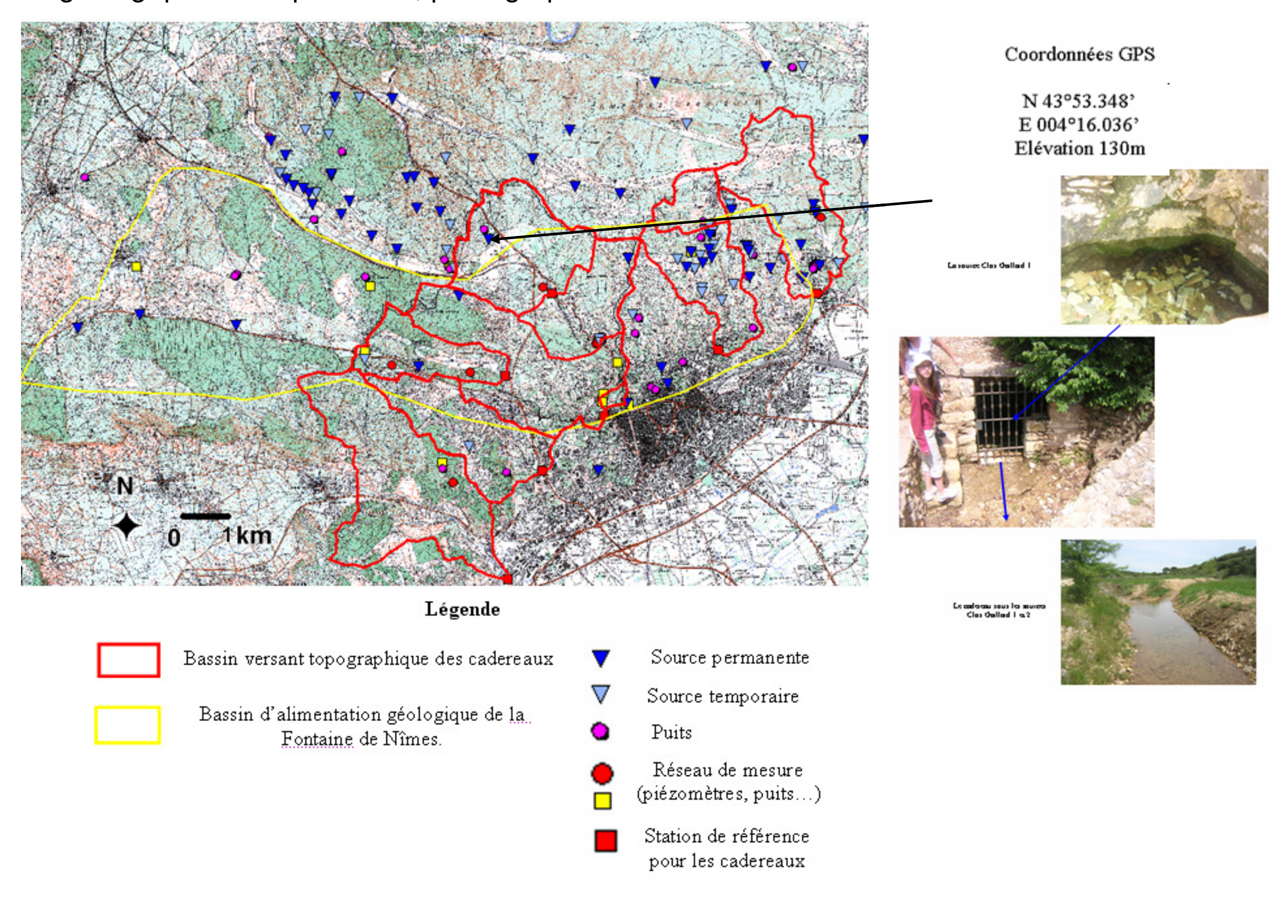


Illustration 6. Exemple des informations contenues dans le SIG

3.2 DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE POUR LA MODELISATION DES DEBITS DANS LES CADEREAUX

L'approche méthodologique retenue repose sur l'utilisation de l'approche de modélisation globale basée sur l'identification de fonctions de transfert ; la modélisation est effectuée au pas de temps horaire à l'aide du logiciel TEMPO (© BRGM, Pinault, 2001). La méthodologie a été testée sur les données anciennes (1997-2007). Le cadereau d'Alès présentant le suivi le plus important (trois stations) et ayant également été caractérisé lors des précédentes études a été choisi pour la mise en œuvre de la méthode. Les trois stations sont localisées dans l'Illustration 2. Après analyse des données, il est apparu que sur les quatre crues principales (27-29 mai 1998, 21 octobre 1999, 9-10 septembre 2002 et 7-9 septembre 2005) seule la crue du 27 au 29 mai 1998 présente des données exploitables, les autres étant marquées par des lacunes d'enregistrement sur les stations du cadereau. Il s'agit d'un épisode double, constitué le premier jour de plus de 130 mm de précipitation en 12 h et le second jour

de 45 mm en 15 h. De plus sur les trois stations (Anduze, Espeisses et CimPro), seul Anduze et Cimpro sont utilisables, l'analyse des données de la station Espeisses ayant révélé des incohérences sur les données.

La modélisation sur la station d'Anduze, située à l'amont du cadereau, est caractérisée sur la période par un faible nombre de crues aux débits limités (Illustration 7). La modélisation s'est révélée insatisfaisante, du fait du faible nombre d'événements. Contrairement à la station d'Anduze, la station Cimpro est située à l'aval du cadereau et à la confluence avec le cadereau de Camplanier. Elle enregistre de nombreuses crues aux débits significatifs. Ce site semble dès lors plus favorable à la caractérisation du fonctionnement du cadereau en période de crue. Deux méthodes ont été testées : une méthode simple et une méthode prenant en compte l'information « contribution karstique ».

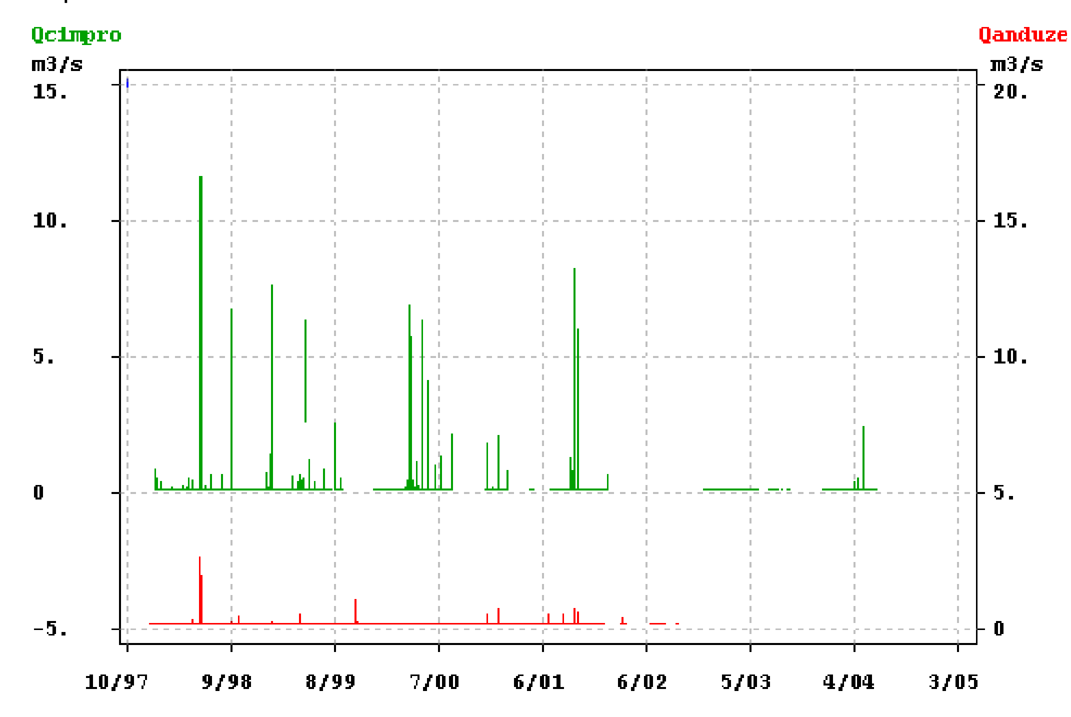


Illustration 7. Chroniques de débits aux stations de CimPro et Anduze.

Méthode simple

Elle est basée sur l'identification de fonctions de transfert qui lient la pluie au débit. Le modèle est calé sur une période de un an, les résultats de cette phase de calage sont satisfaisants, le modèle explique 83 % de la variance et le critère de Nash est égal à 0,68. Le modèle a ensuite été testé en mode prévisionnel afin de reconstituer les débits sur l'ensemble de la chronique de précipitations. Les crues simples reconstituées sont correctes dans l'ensemble, à l'exception de l'épisode de forte crue du 27 au 29 mai 1998, il s'agissait d'un épisode double (Illustration 8). Ainsi le modèle ne reproduit pas le second pic de crue. La composante précipitation n'est pas suffisante pour permettre au modèle de reproduire le comportement hydrologique du

cadereau. Ce deuxième pic de crue apparaît vraisemblablement lié en partie à une alimentation par le karst. Une nouvelle méthode est ainsi nécessaire.

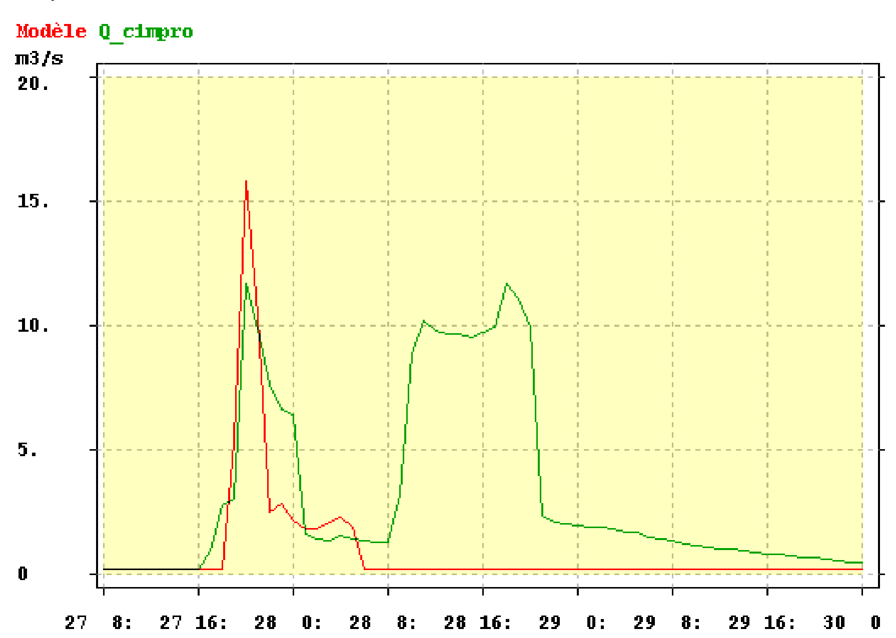


Illustration 8. Résultats de la simulation en utilisant le modèle simple

Méthode prenant en compte l'information karst

La prise en compte de la composante « karst » se fait à partir de la définition d'un seuil de débordement de l'aquifère karstique. L'information « contribution karstique » provient ainsi de la chronique reconstituée de la station EB4 (piézomètre de l'Eau Bouillie situé à proximité du cadereau d'Ales à l'amont de la station CimPro (Illustration 2). Dans un premier temps le modèle de transfert est calé sur la période où les données existent (2006 et 2007), le modèle est ensuite utilisé en mode prévisionnel pour reconstituer l'ensemble de la chronique (1997-2007). Un seuil de débordement est défini sur la chronique reconstituée et l'information débordement est ainsi utilisée dans le modèle de simulation des débits de CimPro (Illustration 9). Cette fois-ci, les résultats de la simulation sont plus satisfaisants (Illustration 10). Le premier pic est bien représenté, et le deuxième bien que son amplitude soit inférieure à celle mesurée est caractérisé par des impulsions concomitantes (Illustration 10). De plus, le tarissement est particulièrement bien représenté, ces débits sont reproduits en grande partie par la composante karst.

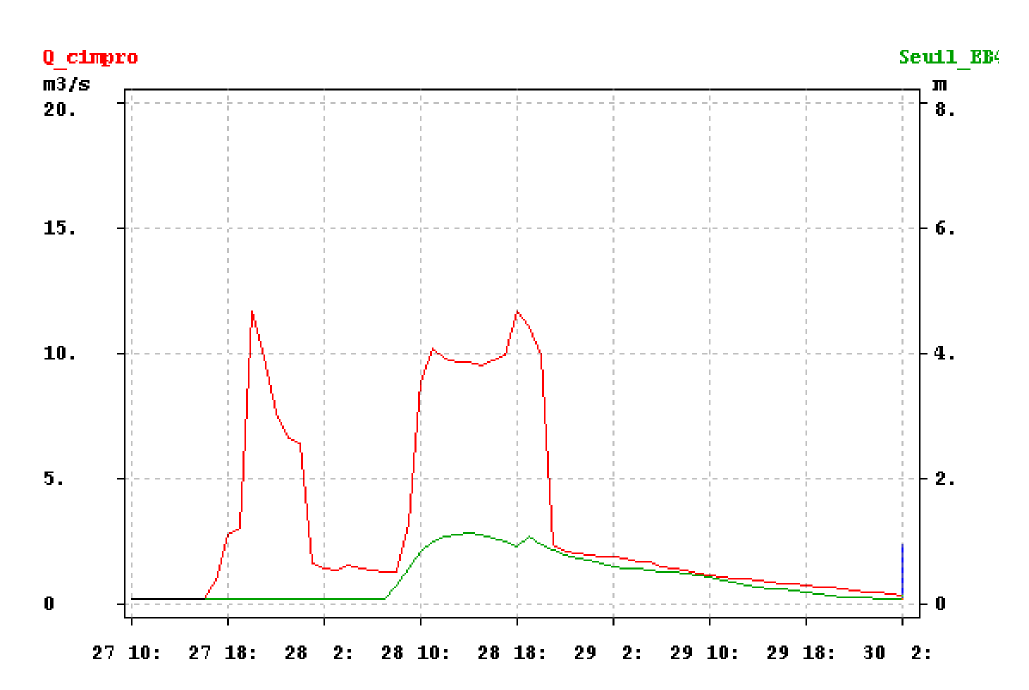


Illustration 9. Information relative au débordement sur le site EB4

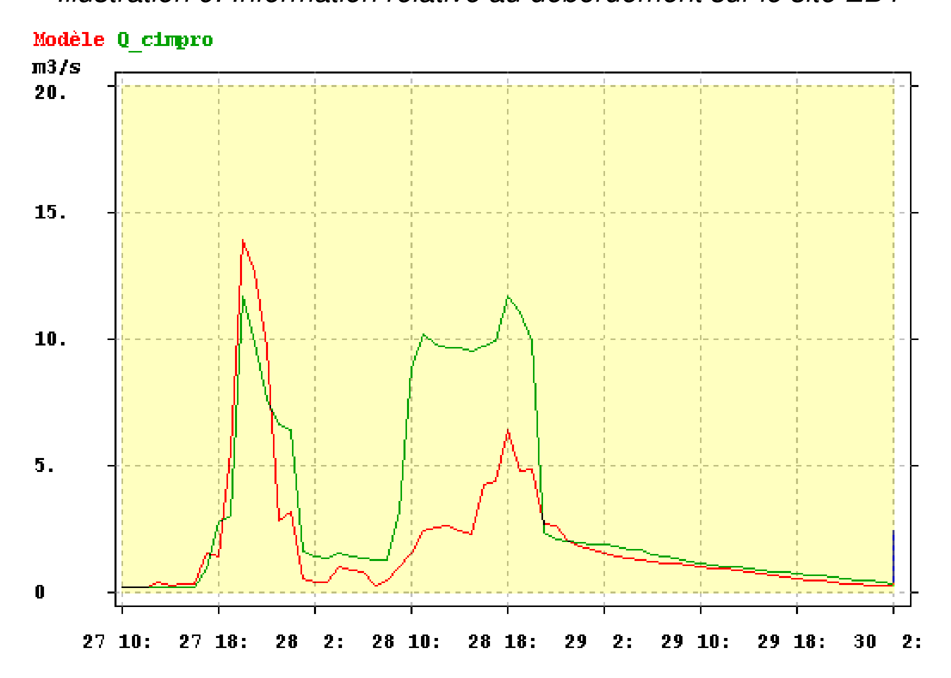


Illustration 10. Résultats de la simulation en utilisant le débordement

L'information « contribution karstique » déduite de la station EB4 permet de reproduire en partie le fonctionnement de la crue caractérisée par des débordements (mai 1998). Toutefois, les amplitudes ne sont pas respectées. Ceci montre que bien que l'information déduite de EB4 permette d'expliquer une partie des débits, il existe une autre information non prise en compte dans cette modélisation. Ceci est certainement lié à une représentativité non optimale de EB4 (cadereau d'Alès) et notamment la non prise en compte des débordements à proximité du cadereau de Camplanier

(alimentant le cadereau d'Alès à la station CimPro). Les nouveaux points du réseau seront ainsi testés dès lors que les données seront suffisamment longues et présenteront des épisodes de crue significatifs.

4 Conclusion et perspectives pour l'année 2

La mise en place du nouveau réseau hydrométrique et le suivi réalisé sur l'ensemble du réseau permet ainsi de constituer la base de donnée qui sera utilisée par la suite. A partir de ces données et aussi de l'analyse quantitative des différents apports (karst et écoulement superficiel) aux débits maximaux des différents cadereaux (étude actuellement en cours menée à l'Ecole des Mines d'Alès) des modèles hydrologiques seront réalisés selon la méthode présentée dans la troisième partie. Ce travail s'appuiera également sur les résultats des décompositions hydrochimiques et isotopiques dès lors que des crues surviendront dans les cadereaux.

Ce travail de modélisation permettra ainsi de modéliser le débit des cadereaux en intégrant de manière explicite les composantes « eaux souterraines », par le biais de fonctions de transfert spécifiques, à l'aide d'indicateurs élaborés à partir de mesures reflétant l'état de saturation des différentes composantes du karst.

Ce travail de modélisation permettra alors de définir des seuils d'alerte suivant le comportement karstique défini selon des critères objectifs tels que les cumuls de pluies et les niveaux piézométriques.

5 Références bibliographiques

Fleury P., 2007. Rapport de fin de travaux des sondages hydrogéologiques réalisés sur la ville de Nîmes, Rapport BRGM RP-55836-FR, 36 p.

Fleury, P., Ladouche, B., Courtois, N., 2007. Aléas inondations de la ville de Nîmes par contribution des eaux souterraines, rapport final, BRGM RP-55558-FR, 152 p., 112 ill.,5 ann.

Pinault, J. L., 2001. Manuel d'utilisateur de TEMPO: logiciel de traitement et de modélisation des séries temporelles en hydrogéologie et en hydrogéochimie. Projet Modhydro. BRGM report RP51459-FR, 221p.

Centre scientifique et technique
3 avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional
Languedoc Roussillon
1039 rue de Pinville,
34000 Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 90